Géodynamique externe de la Terre: le fonctionnement des enveloppes superficielles de la Terre

Cours du Mardi 29 Janvier 2008

- Ce pourrait être un cours de géophysiologie. Selon la théorie Gaia, la Terre est un être vivant, capable d'autorégulation.
- Nous nous focalisons sur l'érosion des relief comme un des transferts majeurs de matière à la surface de la Terre, mais on ne peut comprendre l'érosion sans une bonne connaissance du cycle de l'eau et donc du bilan énergétique de la Terre
- Dans une dernière partie, nous montrerons ce que nous savons des boucles de régulation qui agissent à la surface de la Terre. Tout système complexe est en effet régulé.

Analogie avec la physiologie humaine. Il y a des organes. A chacun de ces organes est associé à une fonction physiologique, et ils sont liés par des boucles de rétroaction.

Plan général

- 1. Le domaine de l'eau
- 2. Climat et surfaces continentales
- 3. La genèse des paysages
- 4. Les couplages à la surface de la Terre

Le royaume de l'eau

- Le soleil, source d'énergie
- L'atmosphère de la Terre et sa dynamique
- L'hydrosphère et sa dynamique

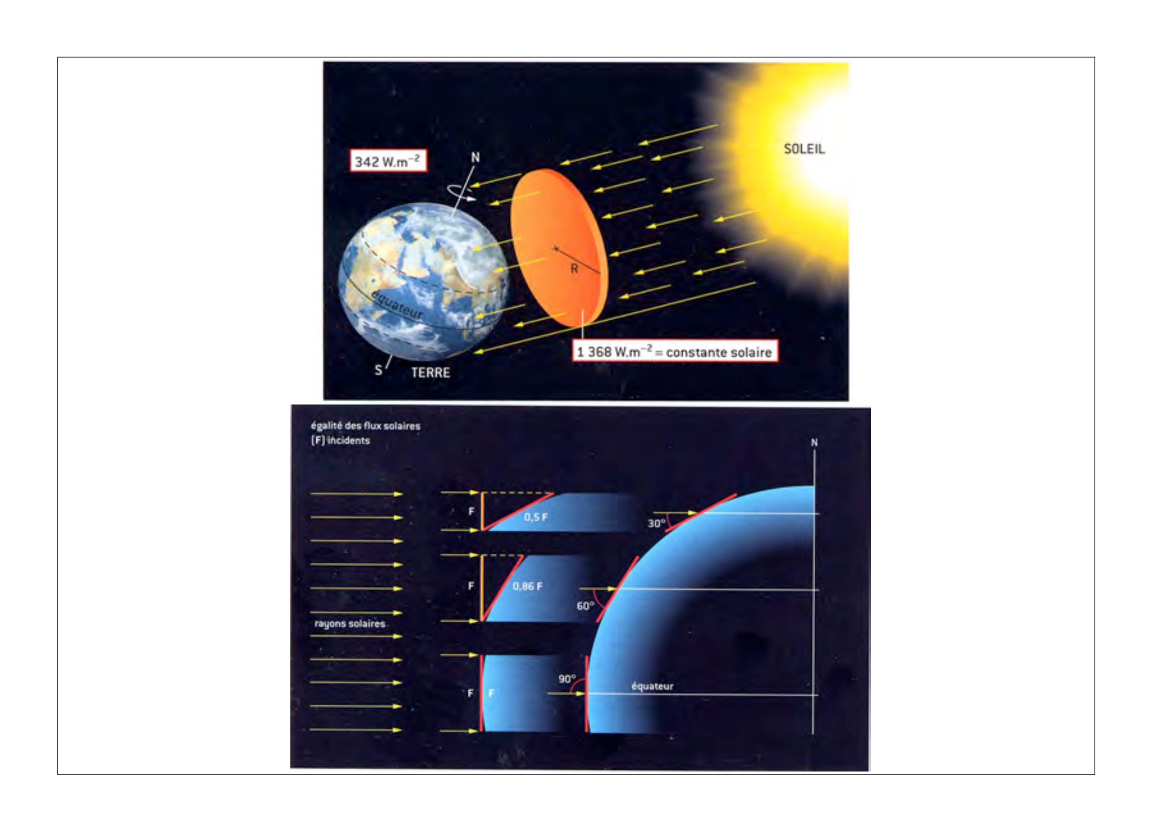
I. Le soleil source d'énergie

- La surface de la Terre reçoit l'essentiel de son énergie du soleil. La biosphère intervient en modifiant les quantités de gaz à effet de Serre.
- La constante solaire
- Une mauvaise répartition : les circulations océanique et atmosphériques

1.1 La constante solaire

- Trois sources d'énergie :
  - Energie interne : 0,06 W/m^2
  - Energie solaire : 340 W/m^2 (au sommet de l'atmosphère, mais 160 à 180 au sol)
  - Energie associée à la rotation de la Terre: 5.10^{-3} W/m^2
  - On appelle constante solaire la quantité d'energie que recevrait un disque située à la distance Terre-soleil. Elle est de 1368 W/m^2 , recue sur une surface de πR^2. Cette valeur est répartie en 24 h sur toute la surface de la terre, c'est à dire $4\pi R^2$. D'ou le 340 W/m^2 .

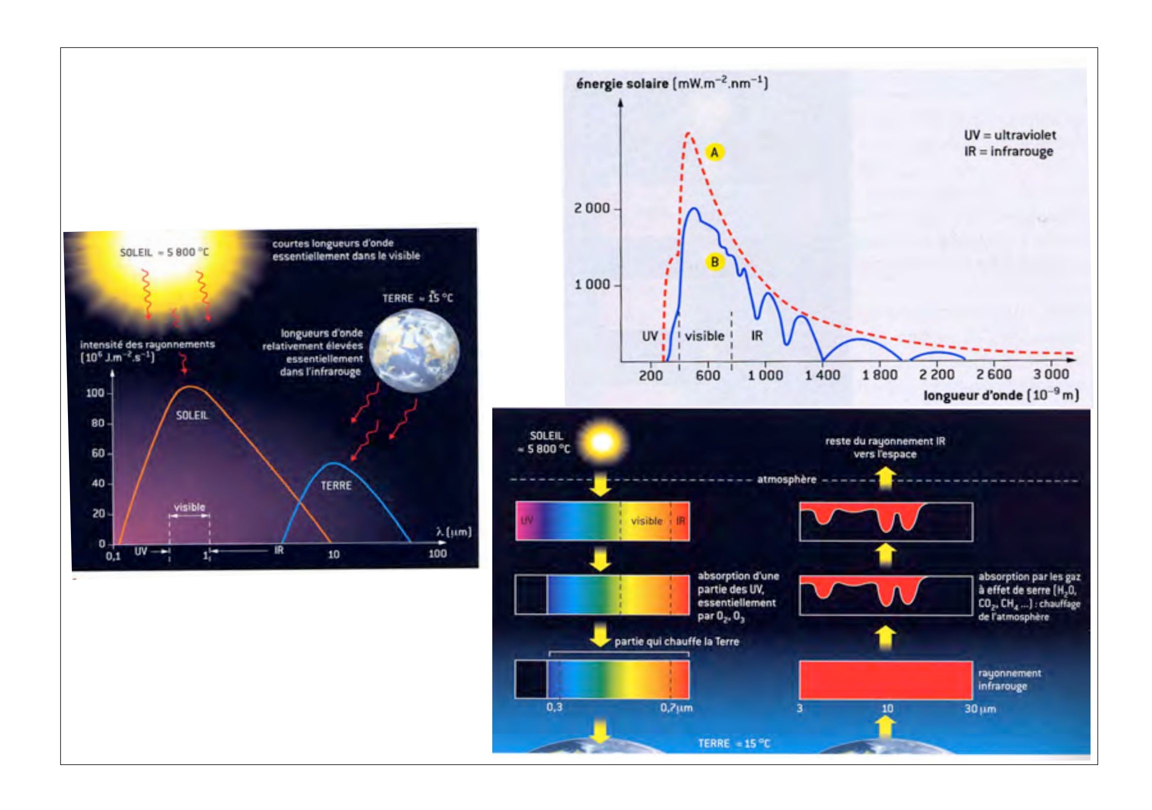
A chercher, le watt, le gradient géothermique moyen, la distance Terre-soleil.



1.2. La nature du rayonnement solaire

- Le soleil envoie une énergie sous forme de photons (électro-magnétique) de diverses longueurs d'ondes. T = 5000 K. Il émet principalement dans le visible.
- Spectres au sommet de l'atmosphère et au sol. Les gaz de l'atmosphère sont responsables de la différence. La Terre est un corps à une température de 15°C, elle émet dans l'infrarouge.

Exercice : corps noir, spectre d'émission,



- Spectres p171 Trompette
- Connaissant l'énergie que la Terre recoit du soleil au sol (160 W/M²), calculez la température théorique de la surface de la Terre (-18°C)
- Pourquoi ne trouve t-on pas la température de 15°C?

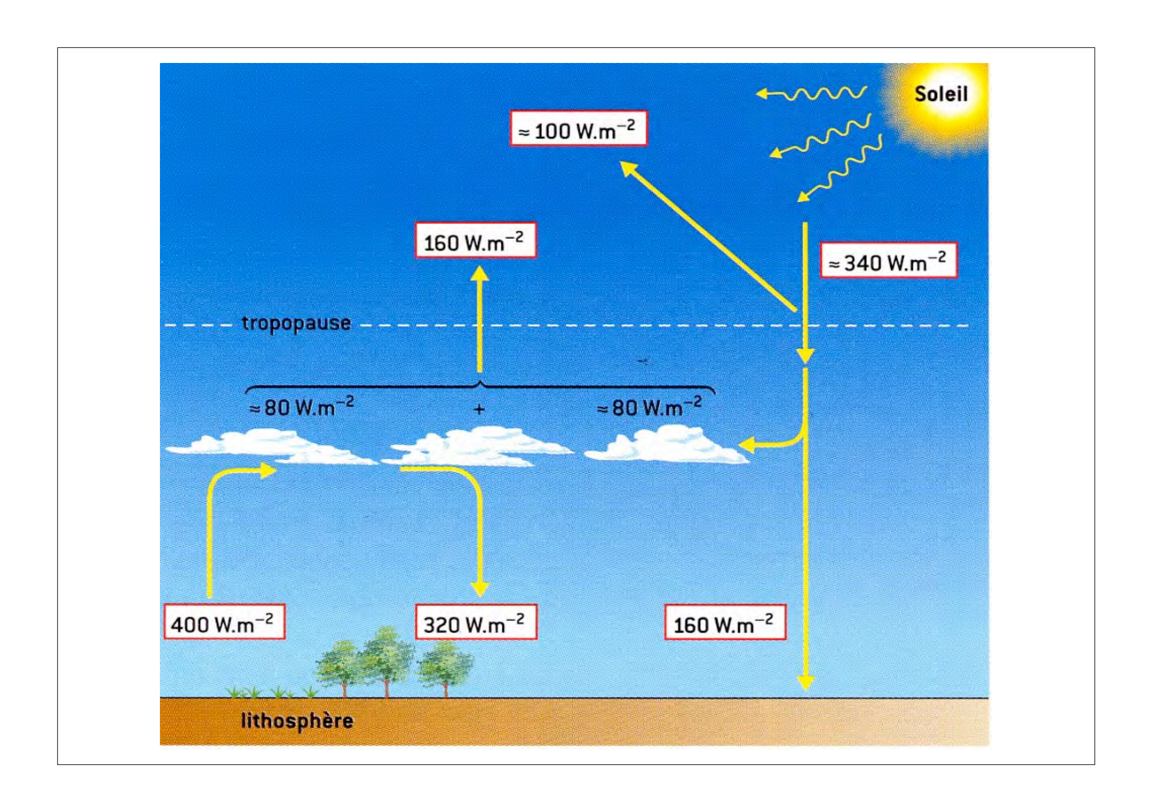
(Ceci est du au fait que l'énergie rayonnée par la Terre dans l'infrarouge (grandes longueurs d'ondes) est absorbée par certains gaz de l'atmosphère et que cela sert à les agiter donc à augmenter la température.)

- Ce mécanisme s'appelle l'effet de Serre, il est responsable de la vie sur la Terre.

1.3. Le bilan radiatif de la Terre

- IL s'agit d'établir le bilan énergétique de la Terre.
- Il est équilibré, la Terre ne se réchauffe ni ne se refroidit (faux à longue échelle de temps)
- Recu : 340, 100 sont réfléchis par la haute atmosphère et 80 sont absorbés par la troposphère (gaz en particulier), le reste atteint le toit de la lithosphère :
- 340 = 100 + 80 + 160 W/m^2
- Autre apport : la surface de la Terre rayonne :

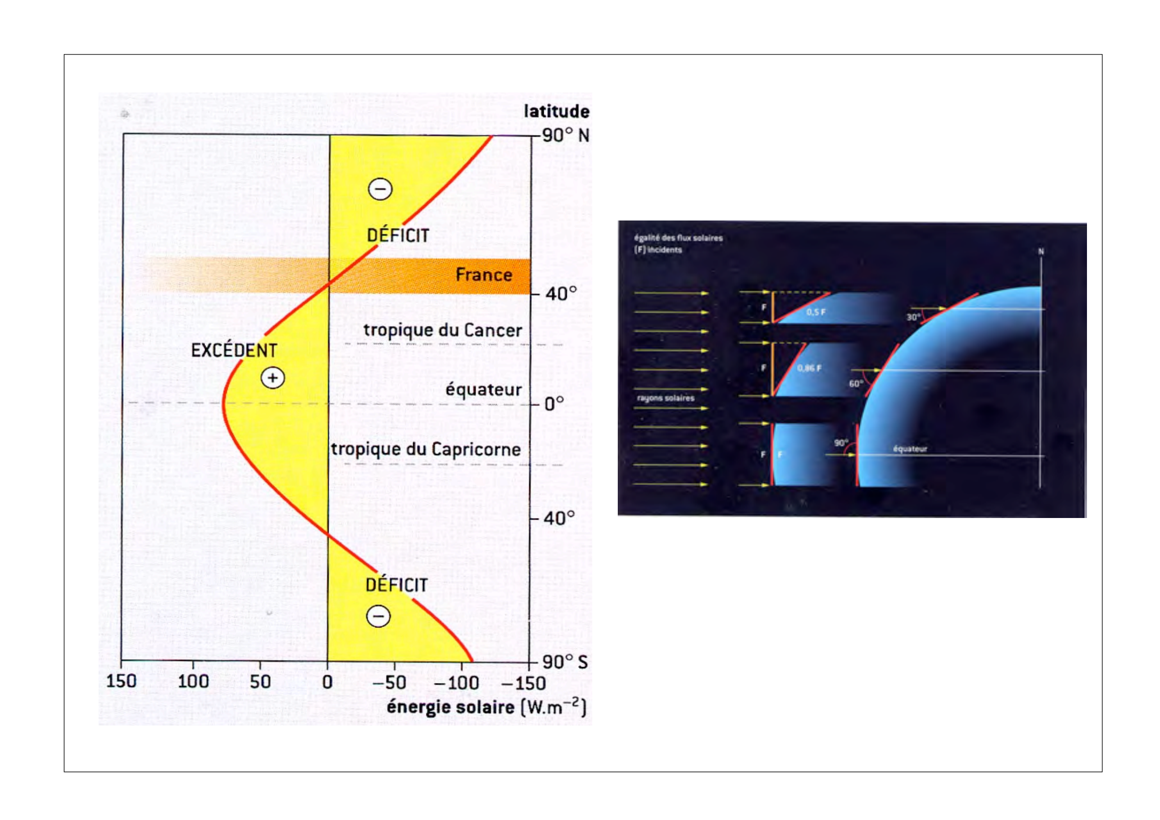
- Le rayonnement IR exporte 400 W/m^2 de la surface vers l'atmosphère, mais seuls 80 s'échappent, le reste 400-80 = 320 W/m^2 est absorbé par l'atmosphère.
- La lithosphère reçoit donc : 320 + 160 = 480 W/m^2 et exporte 400 W/m^2 , d'ou un excès de 80 W/m^2.
- Ces 80 W/m^2 sont utilisés pour le cycle de l'eau.
- C'est un énergie non radiative, essentiellement elle sert aux changements de phase de l'eau.
- *Rappel : chaleur latente.*

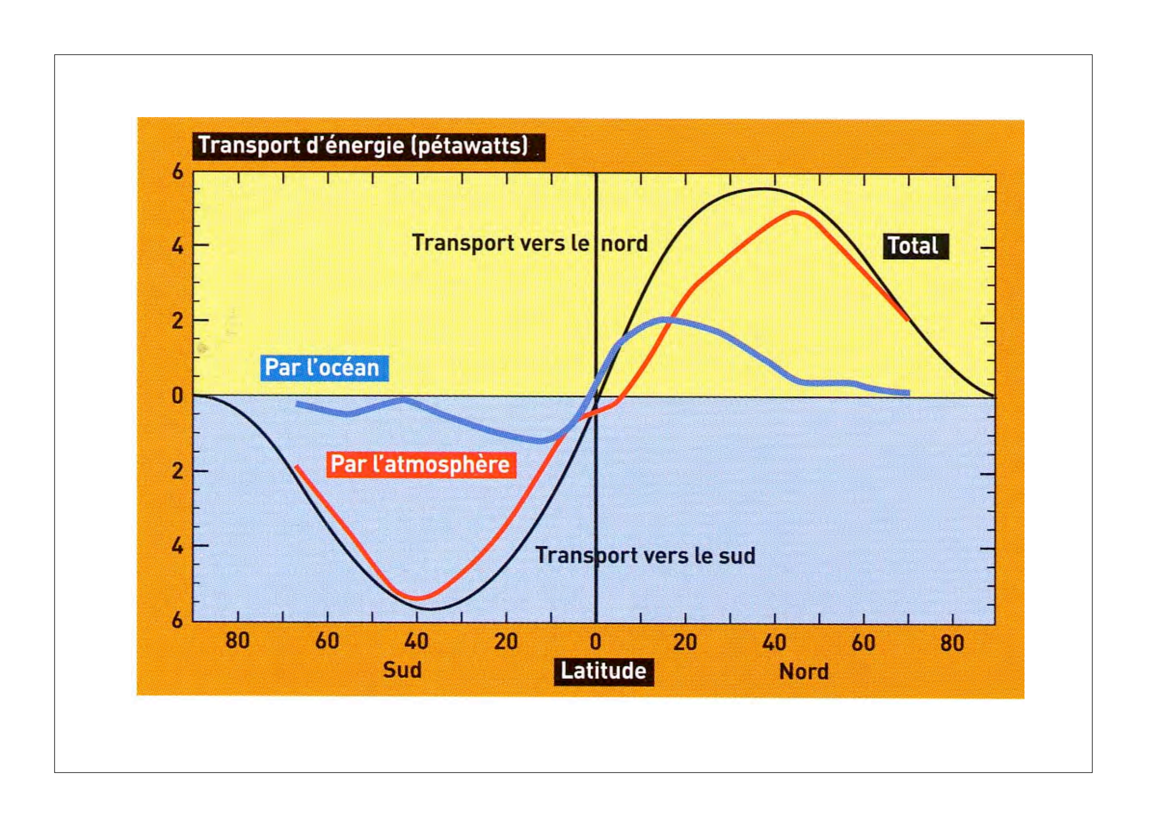


1.5 Une énergie mal répartie

- Variations en fonction de la latitude, cause de la redistribution d'énergie du sud vers le Nord.
- Le bilan radiatif varie en fonction de la latitude. Il est excédentaire sous les tropiques et déficitaires aux hautes latitudes
- Transport d'énergie. L'eau et l'air deux vecteurs, donnez les ordres de grandeur.

- Le transport par la circulation atmosphérique est responsable de la presque totalité du transport d'énergie de l'équateur vers les pôles (5 PW: 5×10^{15} W). L'air peut transporter des petites quantités de chaleur (1J/g/°C) rapidement. *L'énergie produite par l'activité humaine est de 15×10^{12} W par comparaison.*
- L'océan a une grande inertie thermique car l'eau a une grande capacité calorifique (4.18 J/g/°C), mais des mouvements lents (1 à 100 m/heures)



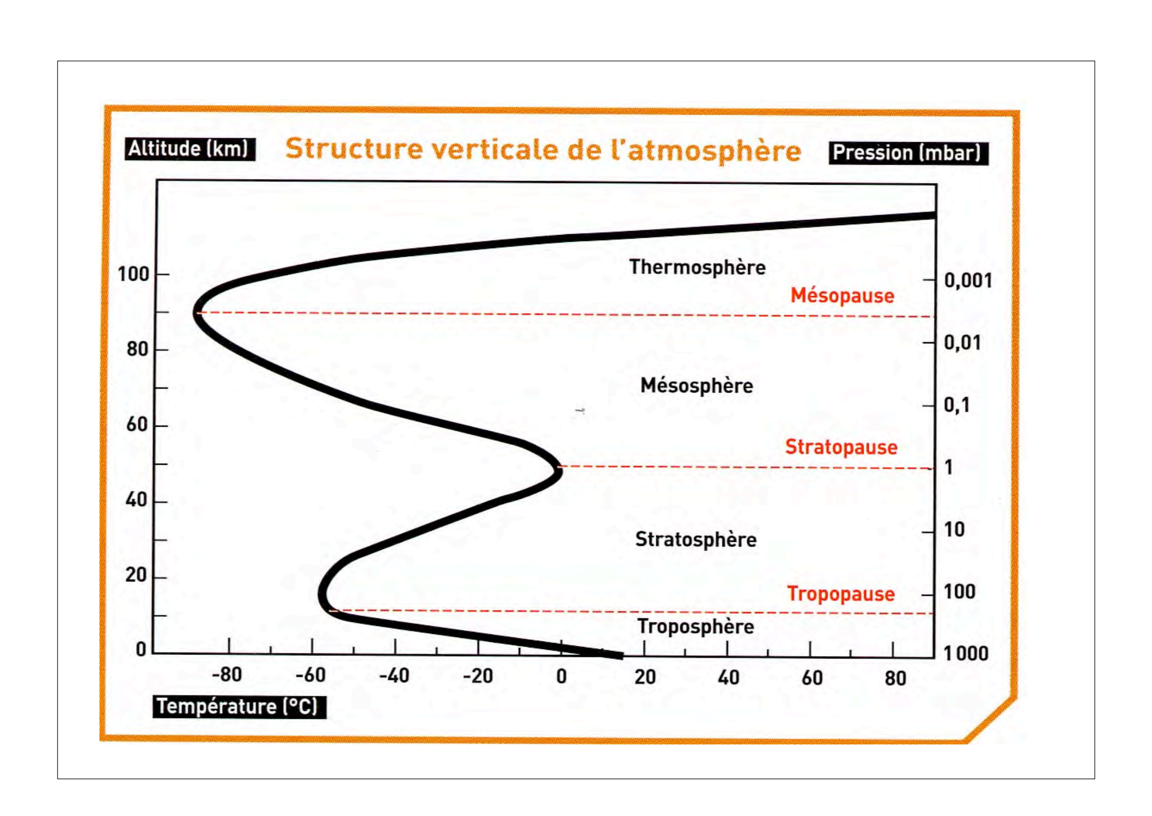


II. L'atmosphère et sa dynamique

- 2.1. Structure de l'atmosphère
- 2.2. Composition de l'atmosphère
- 2.3. Dynamique atmosphérique
- 2.4. Variations temporelles

2.1. Structure de l'atmosphère

- Une couche très fine par rapport à la taille de la Terre (100 km sur les 6400 km de rayon terrestre).
- Elle est stratifiée car il y a des contrastes de température issus du chauffage.
- Troposphère, stratosphère, mésosphère et ionosphère.
- Troposphère : gradient de 6°C par km, elles est à 8 km aux pôles et 16 km à l'équateur. C'est 80% de masse atmosphérique et la totalité des nuages. Elles est chauffée par la base, ce qui crée une instabilité et est ainsi animée de courants de convection.
- La stratosphère est chauffée par le haut, elle est très stable et les réactions de l'oxygène avec le rayonnement solaire produit de l'ozone, cette réaction fournissant de la chaleur.
- Ces deux unités interviennent seules sur le climat.



2.2. Composition de l'atmosphère

- Diazote : 755000 ppmV
- Dioxygène : 231500 ppmV
- Gaz rares : 13000 ppm (Argon)
- Gaz carbonique : 500 ppm
- Hélium : 1 ppm
- Méthane : 1 ppm
- Hydrogène : 0,05 ppm
- Aérosols : 0,1 à 20 mm (suies, cendres, gouttelettes, minéraux, virus)

Comparez ceci aux autres planètes telluriques !

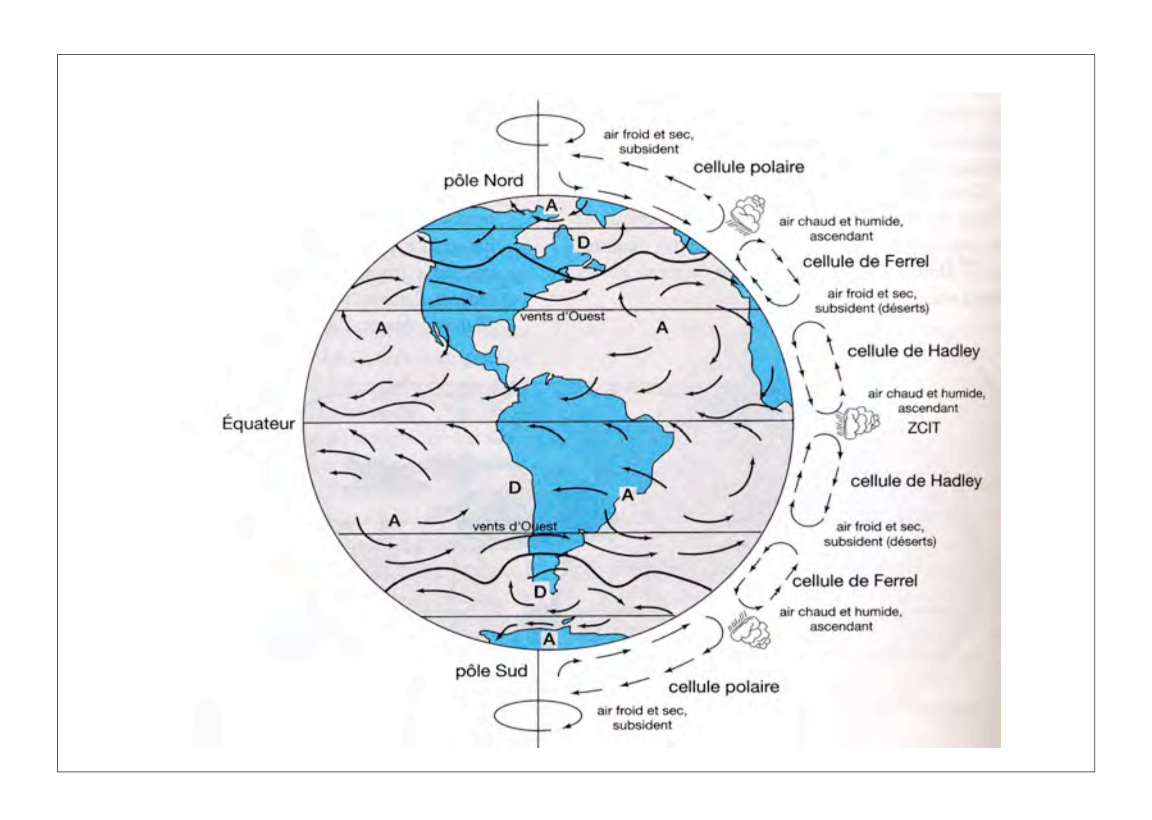
L'eau

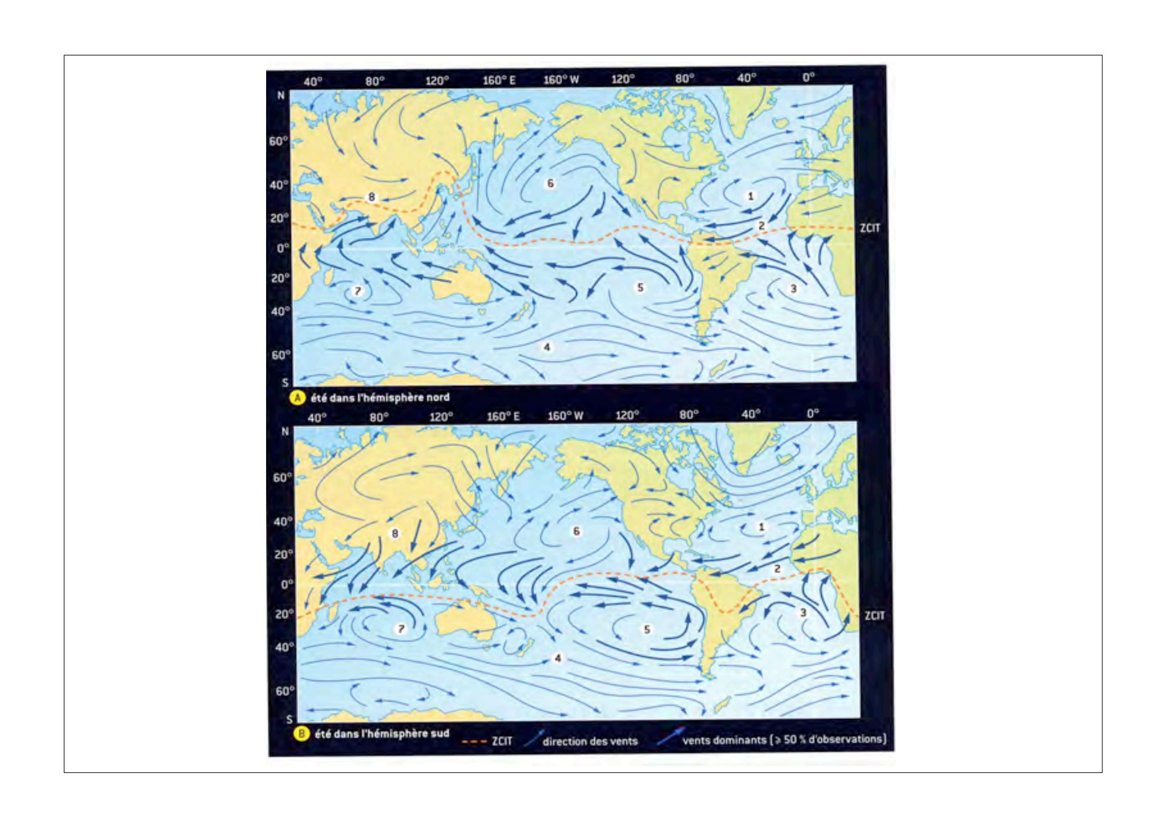
- Invisible : vapeur d'eau
- Visible : nuage ou brouillard
- Plus un air est chaud, plus il contient de l'eau.
- A une température donnée, l'air est saturé si (humidité relative de 100%) si il renferme 100 % de ce qu'il peut contenir.
- 0°C : 1 m^3 d'air peut contenir 7,7 g d'eau
- 30°C : 50 g d'eau !
- La conversion d'un gramme d'eau vapeur en eau liquide libère une chaleur latente de 2400 J/g.

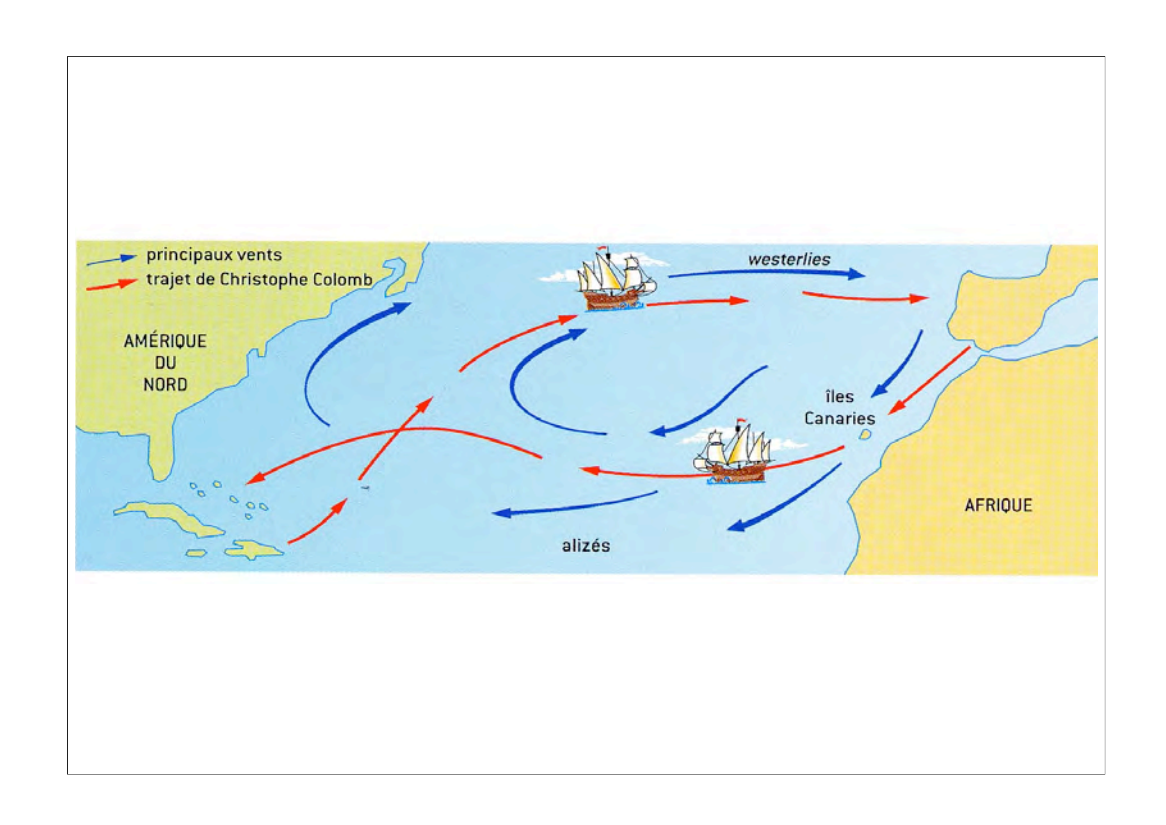
2.3. Dynamique atmosphérique

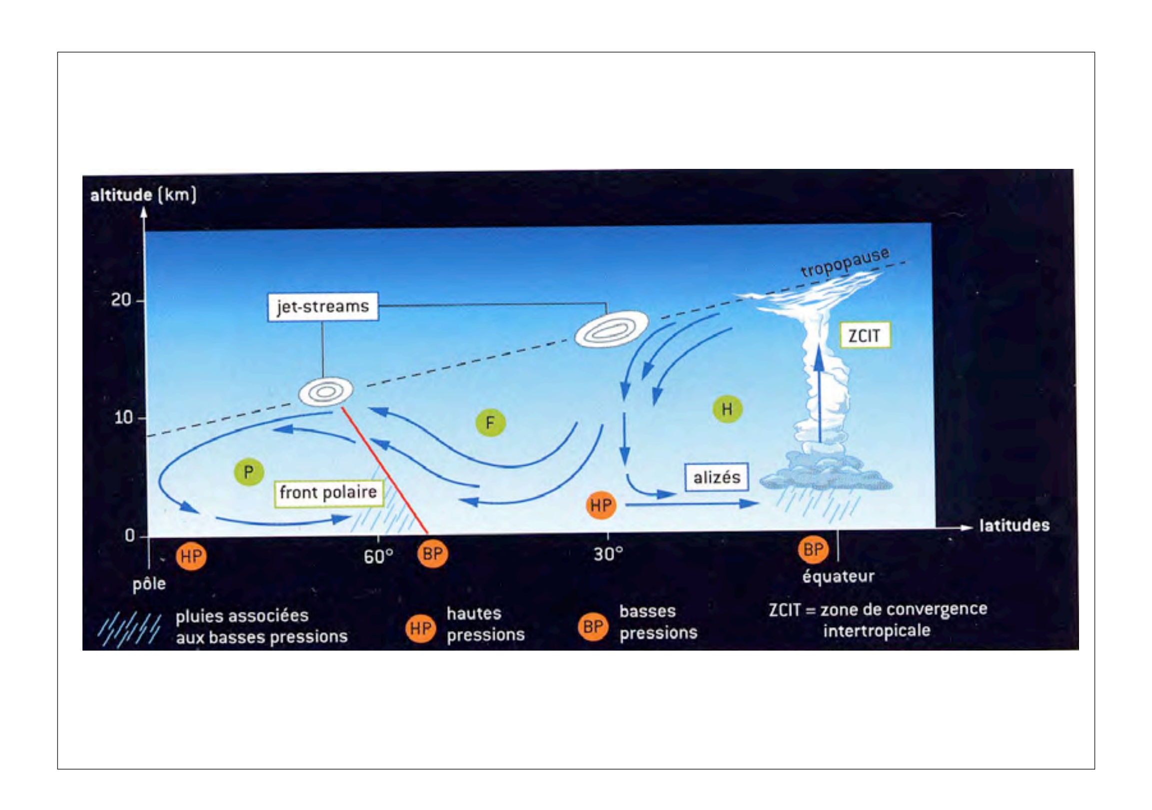
- La rotation de la Terre fait que l'excès d'énergie des tropiques ne retombe pas latitudinalement vers les pôles mais qu'une circulation tourbillonnante s'établit.
- La force de Coriolis est une force qui s'applique à un fluide en mouvement a pour effet de créer des cellules convectives. Du Sud au Nord, il y a en a a peu près trois.
- Il existe une circulation de basse altitude et une circulation de haute altitude.

Exercice : force de Coriolis?




A été dans l'hémisphère nord
B été dans l'hémisphère sud
ZCIT
direction des vents
vents dominants (≥ 50 % d'observations)


principaux vents
trajet de Christophe Colomb
AMÉRIQUE DU NORD
westerlies
îles Canaries
AFRIQUE
alizés



Basse altitude

- Trois cellules (Hadley, Ferrel, Polaire)
  - La zone de convergence intertropicale ou ZCIT
  - Le front polaire, qui n'existe pas vraiment
  - Des zones subsidentes sèches et des zones convergentes humides. Les grandes ceintures de précipitation.
  - Les vents : alizés (voir C. Colomb) et les vents d'Ouest.

Circulation de haute altitude

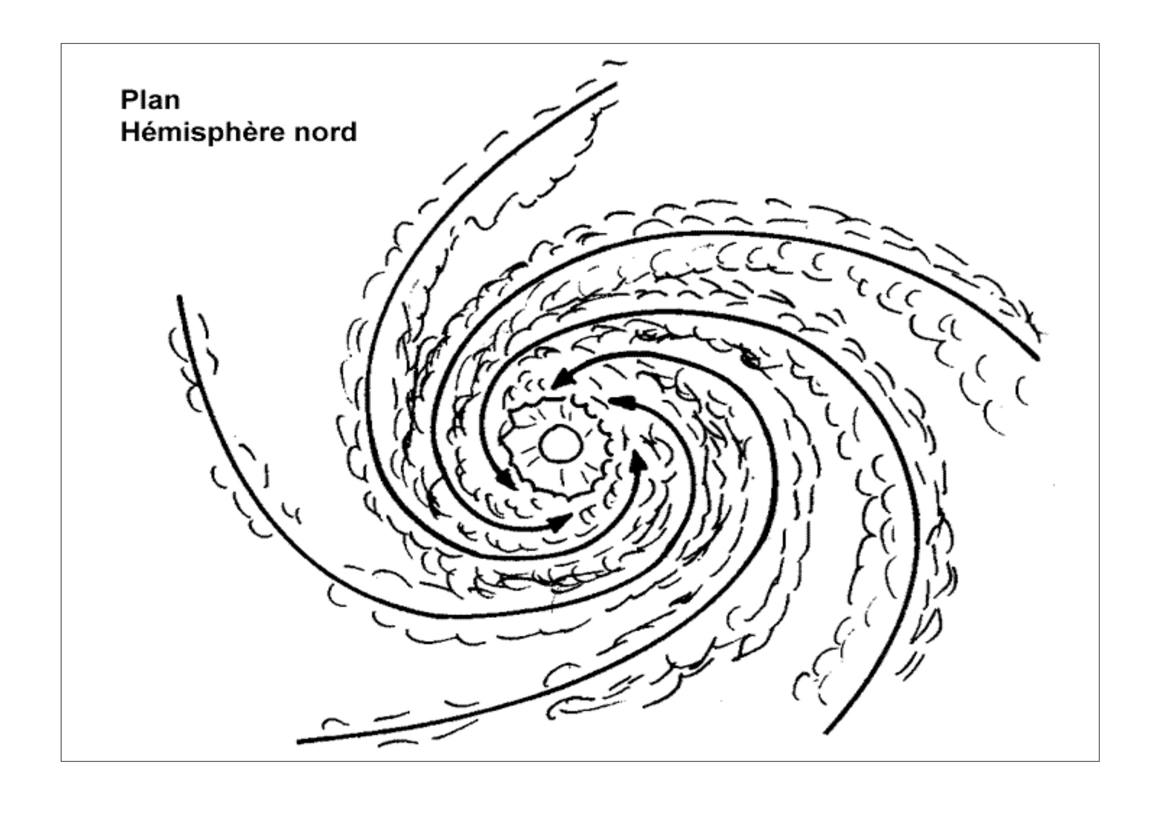
- La circulation de la chaleur le long du plan incliné de la tropopause et la force de Coriolis provoque la formation de courants forts (300 km/h) appelés les jets streams. Ils circulent d'W en Est. Le jet stream polaire est le plus tortueux car la force de Coriolis est plus forte aux hautes latitudes. Les anticyclones et dépressions naissent des méandres du jet stream polaire.

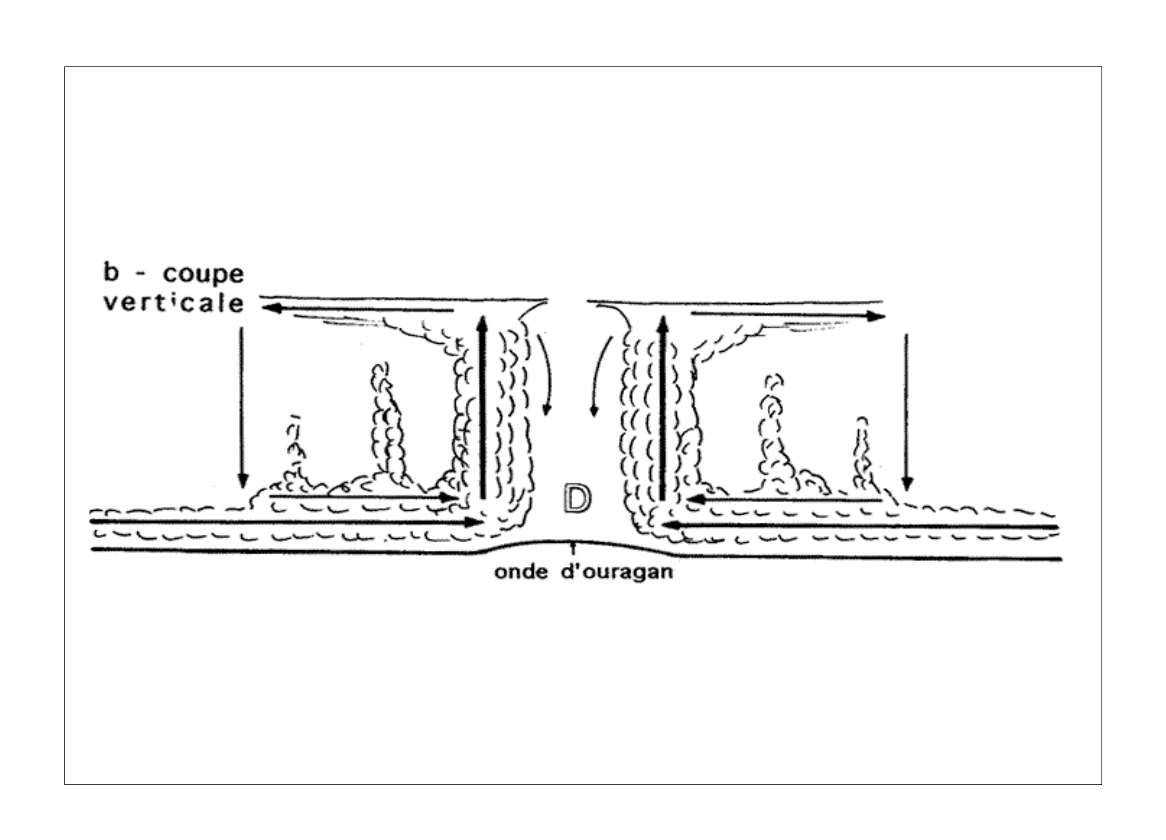
Les cyclones tropicaux

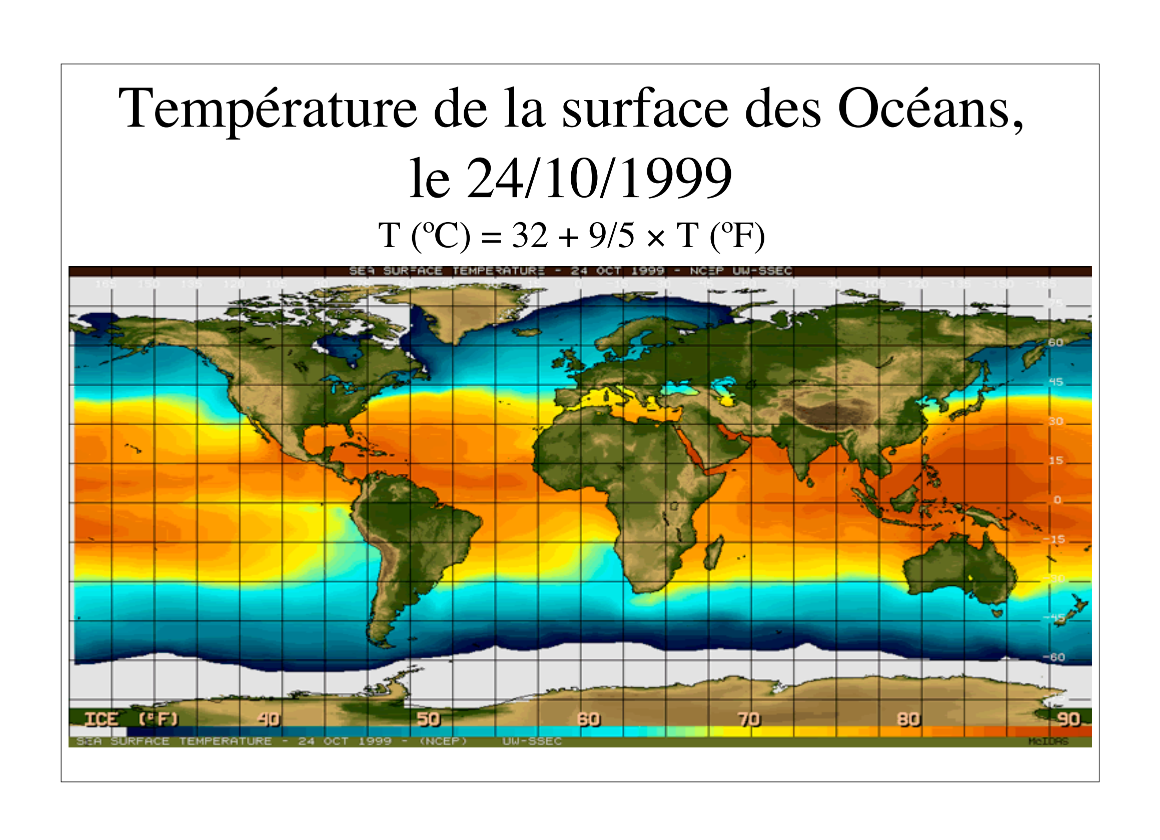
- Ce sont des tourbillons d'air naissant dans les zones tropicales seulement. Ils peuvent avoir 100 km de diamètre.
- On distingue plusieurs classes de cyclones tropicaux. La tempête tropicale devient un ouragan lorsque les vents dépassent les 120 km/h.
- Dans les cas les pires, on atteind 240 km/h et la pression peut tomber à 920 hPa.
- Les deux conditions de formation des ouragans sont une mer à plus de 26 °C sur au moins 50 m de profondeur et une position à plus de 500 km de l'équateur. Sinon, la force de Coriolis est trop faible.

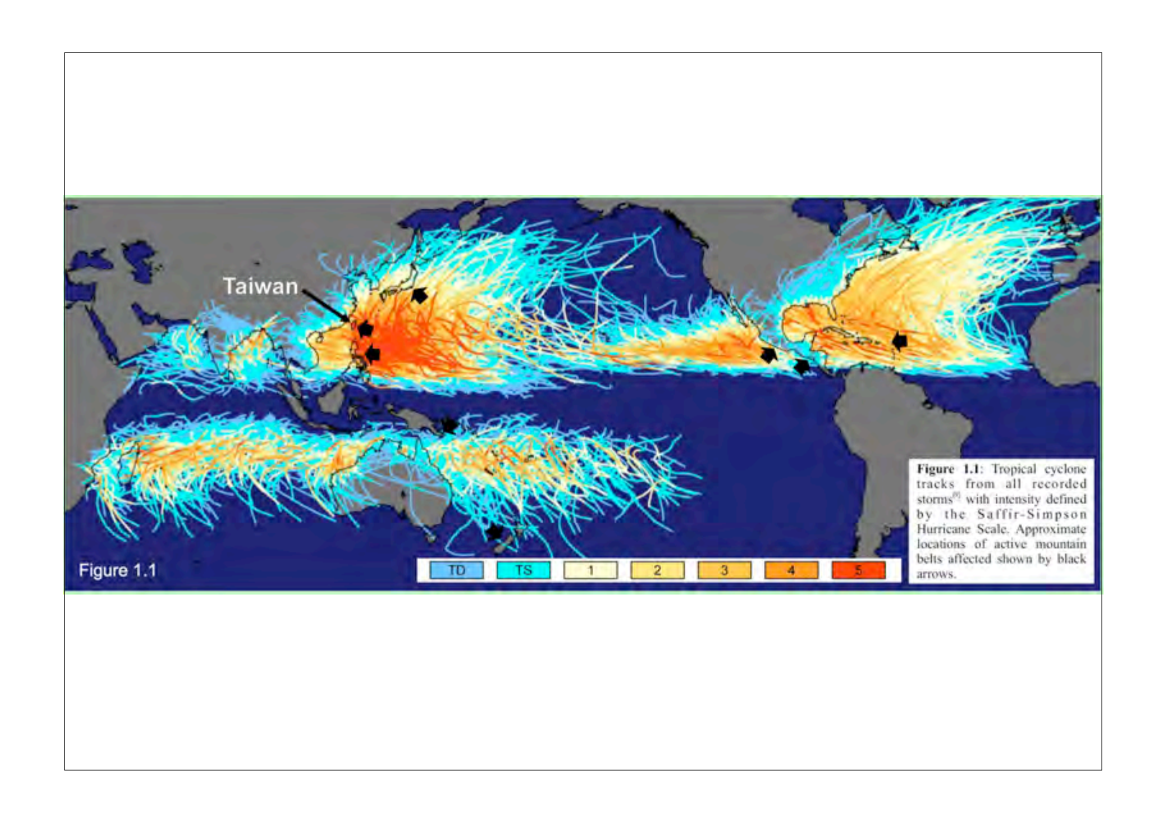
Les cyclones tropicaux

- Le cyclone est un phénomène marin. Il transforme de l'énergie thermique en mouvement. C'est un cycle de Carnot. La source chaude est l'océan et le dégagement de chaleur latente lorsque l'air chaud s'élève et que l'eau se condense. La source froide est la tropopause.
- Les conséquences des cyclones sont terribles : vents destructeurs et pluies diluviennes.



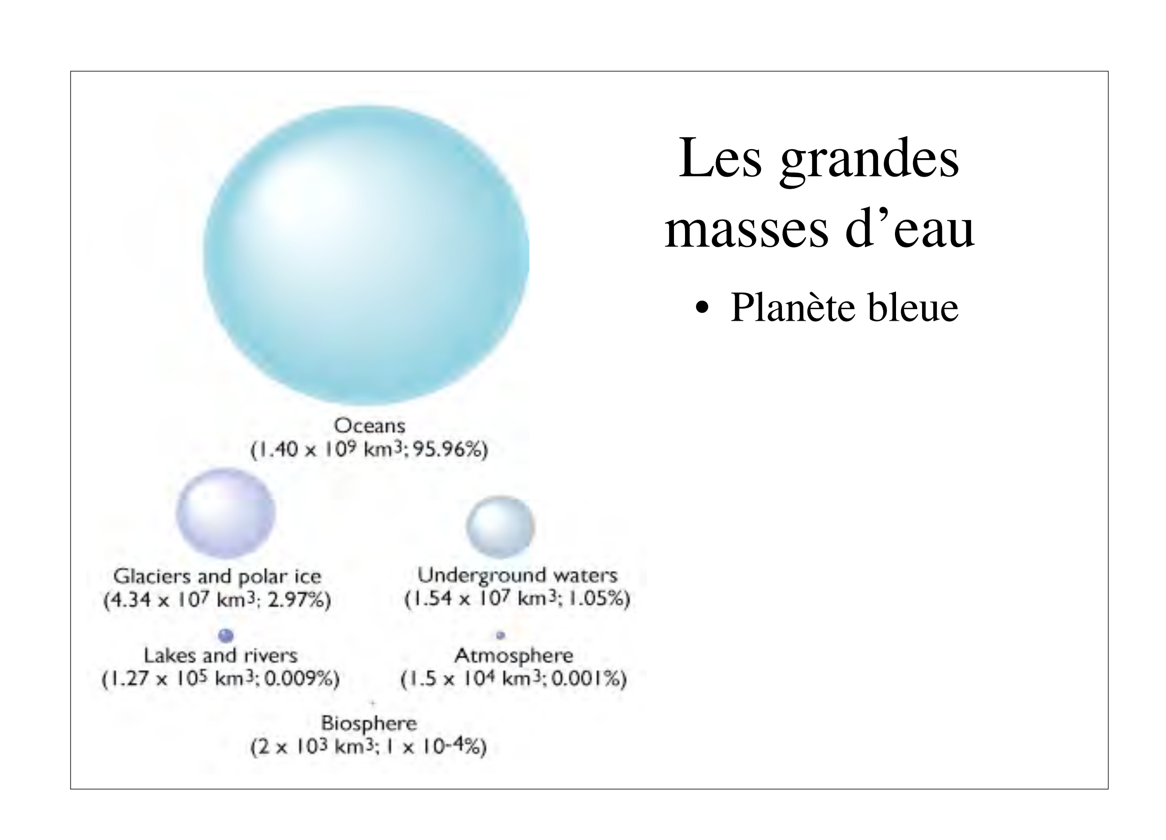

b - coupe
verticale
D
onde d'ouragan


Température de la surface des Océans,
le 24/10/1999
T (ºC) = 32 + 9/5 × T (ºF)
SEA SURFACE TEMPERATURE - 24 OCT 1999 - NCEP UW-SSEC
ICE (°F)
40
50
60
70
80
90
SEA SURFACE TEMPERATURE - 24 OCT 1999 - (NCEP) UW-SSEC
McIDAS



III. L’hydrosphère

- 3.1. Les grandes masses d’eau à la surface de la Terre
- 3.3. L’océan, sa composition
- 3.4. L’océan, sa dynamique, constantes de temps.



Des temps de résidence variables

	pourcentage	Temps de séjour
Océan	93,9 %	3000 ans
fleuves	0,0001	16 jours
Eaux souterraines	4,12%	300 à 5000 ans
Glaciers	1,65%	12000 ans
Lacs	0,016%	10 ans
atmosphère	0,001	10 jours

La composition de l'océan

ion	g/kg	ion en %
Chlorure	18,98	55
Sodium	10,56	31
Sufate	2,65	8
Magnésium	1,27	4
Calcium	0,4	1
Potassium	0,38	1
Bicarbonate	0,14	0,4

Origine des éléments dissous ; altération des roches et apport de l'hydrothermalisme. L'évaporation a concentré les éléments.

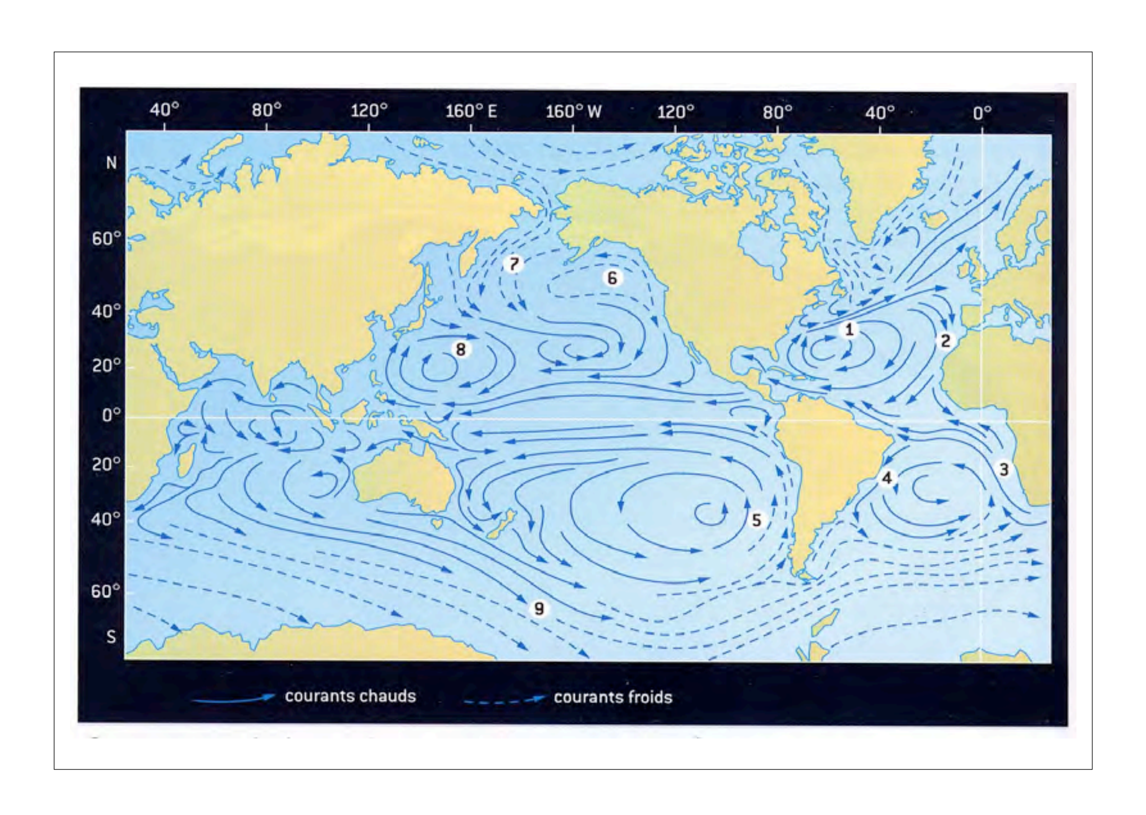
Processus interne : biogénique, altération des roches volcaniques, précipitation de minéraux silicatés.

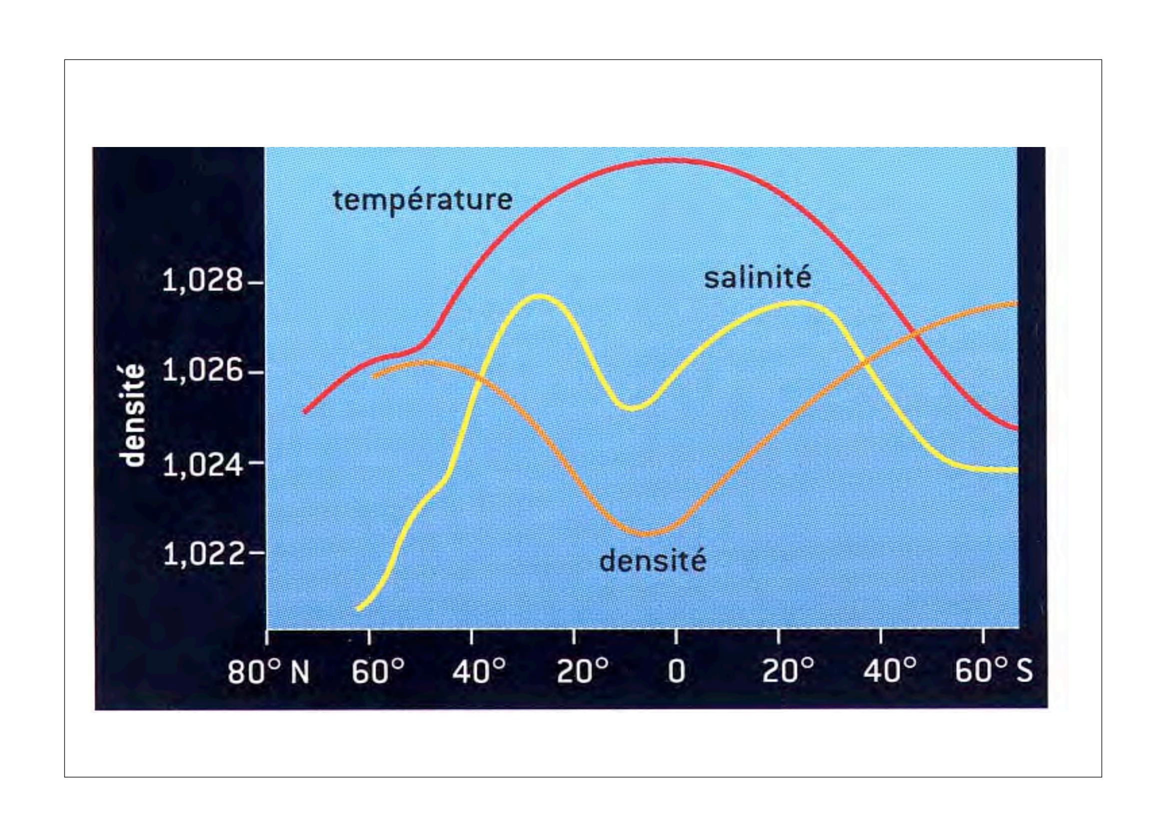
Calcul de l'age de la Terre par Joly

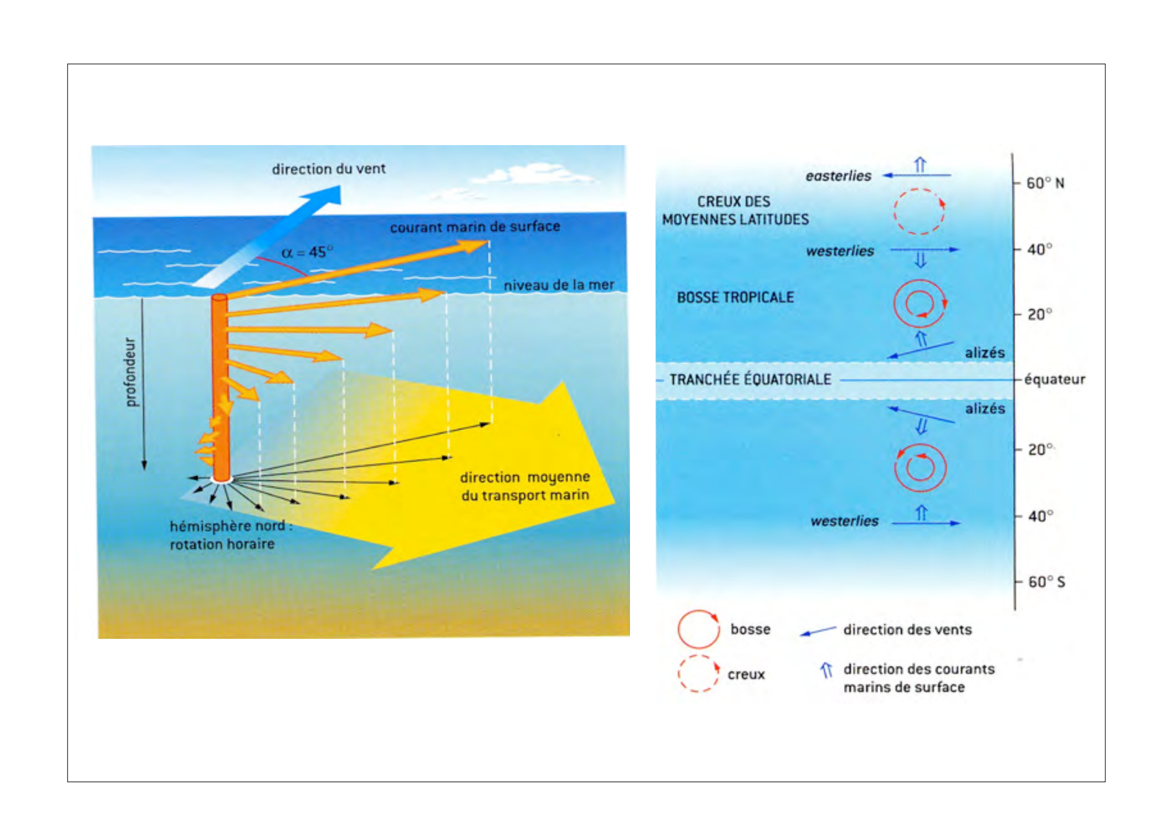
La circulation océanique

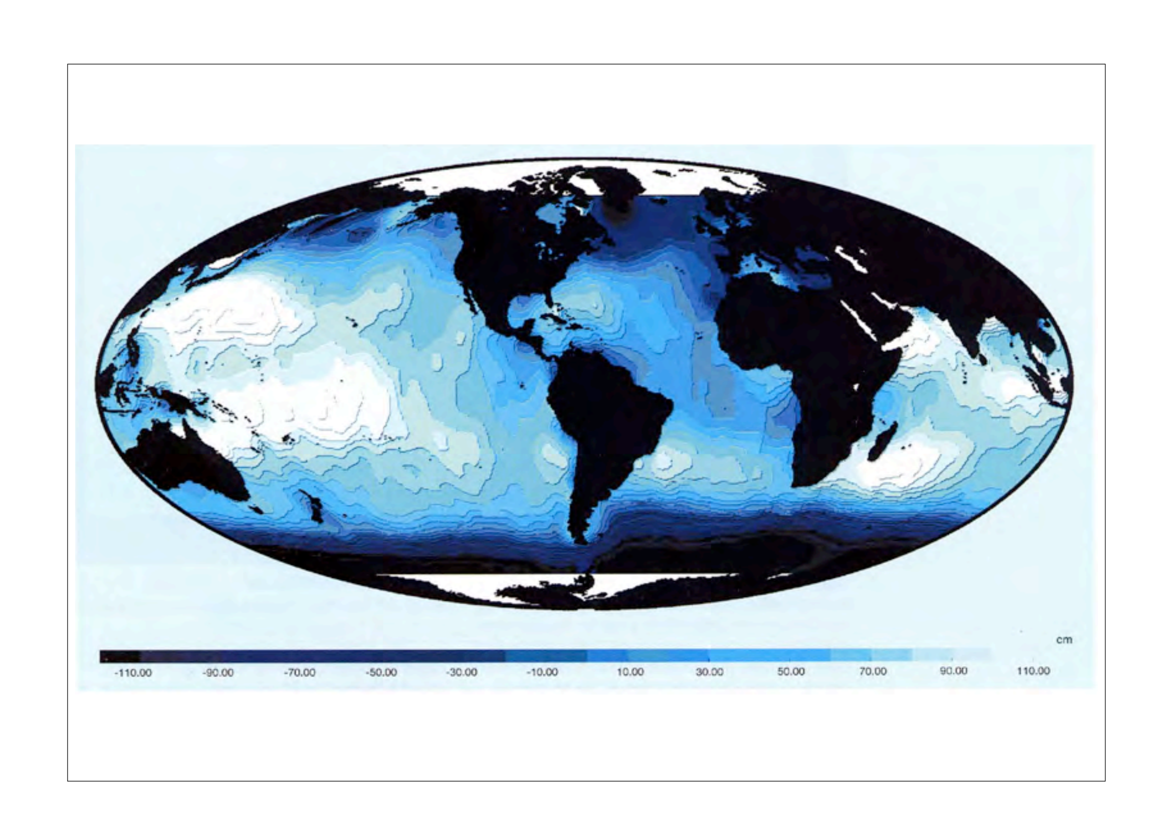
- Les raisons des courants océaniques sont très différentes de celles des courants atmosphériques.
- Seule la couche de surface est chauffée par le soleil. Ce qui crée une couche de surface stable.
- La densité varie non pas seulement en fonction de la température mais aussi de la salinité.
- C'est la circulation atmosphérique qui détermine les courants de surface de l'océan. Par FRICTION, le vent entraîne l'eau avec un déviation de 45°C en surface, mais qui augmente avec la profondeur. La force de Coriolis fait qu'en moyenne l'eau circule à 90° de la direction du vent (spirale d'Eckman)

- La circulation atmosphérique + le transport d'Eckmann crée des accumulation (convergences) et des creux (divergences). Ces différences de topographie induisent des courants de gravité, déviés aussi par la force de Coriolis. Un équilibre s'établit entre le transport d'Eckman et les courants de gravité, l'équilibre géostrophique qui explique les courants de surface observés (Topex-Poséidon).
- Redistribution de la chaleur




température
salinité
densité
1,028
1,026
1,024
1,022
densité
80° N
60°
40°
20°
0
20°
40°
60° S


direction du vent
courant marin de surface
α = 45°
niveau de la mer
profondeur
direction moyenne
du transport marin
hémisphère nord :
rotation horaire
easterlies
CREUX DES
MOYENNES LATITUDES
westerlies
BOSSE TROPICALE
alizés
TRANCHÉE ÉQUATORIALE
équateur
alizés
westerlies
60° N
40°
20°
20°
40°
60° S
bosse
creux
direction des vents
direction des courants
marins de surface


cm
-110.00
-90.00
-70.00
-50.00
-30.00
-10.00
10.00
30.00
50.00
70.00
90.00
110.00